



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 28 619.1

(51) Int Cl. 7: F01N 3/02

(22) Anmeldetag: 26.06.2002

F16L 55/027, F01N 3/28

(43) Offenlegungstag: 22.01.2004

(71) Anmelder:

Benteler Automobiltechnik GmbH, 33102
Paderborn, DE

(72) Erfinder:

Spillner, Birgit, 33154 Salzkotten, DE; Smatloch,
Christian, Dr.-Ing., 33100 Paderborn, DE

(74) Vertreter:

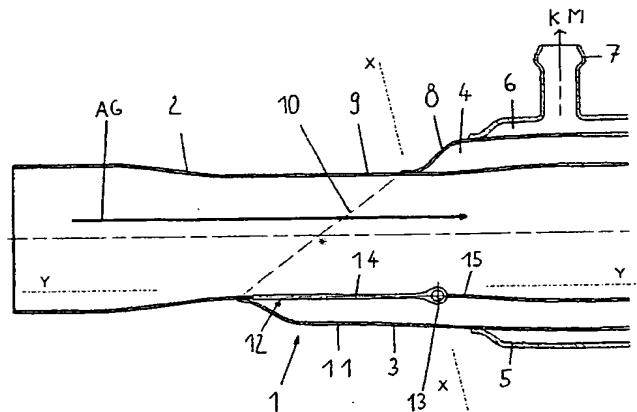
Reinhold, S., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 59425 Unna

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Abgasrohr für die Abgasanlage eines Kraftfahrzeugs

(57) Zusammenfassung: Bei einem Abgasrohr (1) für die Abgasanlage eines Kraftfahrzeugs, die zwischen einem Abgas erzeugenden Verbrennungsmotor und einem Abgas in die Umgebung überleitenden Auspuffrohr, insbesondere zwischen einem motornahen Drei-Wege-Katalysator und einem vor dem Auspuffrohr angeordneten NO_x-Absorber, angeordnet ist, soll bei kleiner Baugröße die Temperatur des aus dem Rohr austretenden Abgases optimal geregelt werden können. Das Abgasrohr weist ein das Abgas (AG) leitendes Innenrohr (2) und ein das Innenrohr (2) mit Abstand umgebendes zweites Rohr (3) auf, das mit dem Innenrohr (2) einen Abgas (AG) leitenden Ringspalt (4) bildet. Der Ringspalt (4) ist mittels einer Klappe (14) verspermbar. Die Verschwenkachse (13) der Klappe (14) ist entlang der Innenrohrwandung (15) angeordnet. Im Verschwenkbereich der Klappe (14) ist eine Durchtrittsöffnung (12) in der Innenrohrwandung (15) für das Abgas des Ringspaltes (4) vorgesehen, wobei die Klappe (14) zwischen einer Versperrstellung der Durchtrittsöffnung (12) und einer Versperrstellung des Innerrohrs (2) einschließlich Zwischenstellungen verschwenkbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Abgasrohr für die Abgasanlage eines Kraftfahrzeugs, die zwischen einem Abgas erzeugenden Verbrennungsmotor und einem Abgas in die Umgebung überleitenden Auspuffrohr und hier insbesondere zwischen einem motornahen Drei-Wege-Katalysator und einem NO_x-Adsorber, der sich vor dem Auspuffrohr befindet, angeordnet ist. Das Abgasrohr weist ein Abgas leitendes Innenrohr und ein das Innenrohr mit Abstand umgebendes zweites Rohr auf, das mit dem Innenrohr einen Abgas leitenden Ringspalt bildet, wobei der Ringspalt mittels einer Klappe versperrbar ist.

[0002] Zur Reduktion des NO_x-Ausstosses direkteinspritzender Ottomotoren werden beispielsweise gekühlte Abgasrückführungen, wie sie aus der DE 19841927 A1 bekannt sind, oder Katalysatoren mit einem NO_x-Adsorber eingesetzt. Der Einsatz von Katalysatoren erfordert ein bestimmtes Temperaturfenster für die Abgase. Erst ab einer Temperatur von etwa 250° (Ansprinttemperatur) findet eine Konvertierung der Schadstoffkomponenten wie Kohlenwasserstoff (HC), Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxide (NO_x) in die Verbindungen Kohlendioxid (CO₂), Stickstoff (N₂) bzw. Wasser (H₂O) statt. Das Erreichen der Ansprinttemperatur nach dem Kaltstart kann beispielsweise durch luftspaltisierte Abgaskrümmer oder Abgasrohre deutlich verkürzt werden. Hierdurch wird zwar ein schnelle Aufheizung des Katalysators erreicht, es können aber beim Dauerbetrieb, insbesondere im Hochlast- bzw. Hochgeschwindigkeitsbetrieb, so hohe Temperaturen entstehen, dass der Katalysator und insbesondere der thermisch empfindliche NO_x-Adsorber dauerhaft geschädigt werden und somit nicht mehr effektiv sind. Um den NO_x-Adsorber schnellstmöglich auf Betriebstemperatur zu bringen und die Temperatur auf Werte innerhalb des gewünschten Temperaturfensters von 250–450°C einzustellen und zu halten, muss das heiße Abgas, das aus dem Motor austritt, in der Startphase möglichst gut isoliert werden, bei längerem Betrieb aber gekühlt werden.

[0003] Es sind Abgassysteme bekannt, die dieses Problem dadurch lösen, dass das Abgas durch ein System mit mehreren parallelen Rohren fließt. Einige der Rohre sind thermisch isoliert und andere nicht. In den nicht isolierten Rohren wird das Abgas durch Umgebungsluft abgekühlt. Die Steuerung des Anteils der Abgase, die durch die isolierten oder die nicht isolierten Rohre strömen, erfolgt entweder durch eine Mehrzahl von Stellorganen oder unter Verzicht von Stellorganen unter Ausnutzung des Umstandes, dass mit Erhöhung der Abgasgeschwindigkeit ein größerer Teil der Abgase durch die nicht isolierten Rohre fließt, wie in der US 5,979,159 beschrieben. Das bekannte Mehrkanalsystem mit parallelen Rohren benötigt relativ viel Platz.

[0004] Zudem gibt es Abgassysteme mit luftspaltisierten Abgasrohren. Aus der DE 198 54 095 A1 ist

eine Vorrichtung zur Nachbehandlung der Abgase von Brennkraftmaschinen mit einer Abgasleitung bekannt, in die eine separate Leitung integriert ist und somit ein Ringspalt zum äußeren Rohr entsteht. Eingangsseitig wird der Ringspalt, nicht aber die separate Leitung, mittels einer Klappe verschlossen. Hierzu soll in der Klappe eine entsprechende Ausnehmung vorgesehen sein. Bei geschlossener Klappe strömt das Abgas luftspaltisoliert nur durch die separate Leitung. Wird die Klappe geöffnet, strömt der größte Teil des Abgases aufgrund des geringeren Strömungswiderstandes in den Ringspalt und wird durch Umgebungsluft gekühlt.

[0005] Ausgehend hiervon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Abgasrohr für eine Abgasanlage der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass bei kleiner Baugröße die Temperatur des aus dem Rohr austretenden Abgases optimal geregelt werden kann.

[0006] Diese Aufgabe wird mittels eines Abgasrohres mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0007] Kerngedanke der Erfindung ist, mittels einer Klappe als Stellmittel entweder das Innenrohr gegen ein Durchströmen des Abgases oder den Ringspalt gegen ein Durchströmen des Abgases zu versperren, wobei auch Zwischenstellungen im Verschwenkbereich der Klappe möglich sind. Die Verschwenkachse der Klappe wird hierzu in Umfangsrichtung entlang der Innenrohrwandung angeordnet. Die Klappenfläche ist so zugeschnitten, dass in der Versperrstellung für das Innenrohr der gesamte Querschnitt des Innenrohrs abgedeckt wird. Im Verschwenkbereich der Klappe ist eine Durchtrittsöffnung in der Rohrwand für die Ein- oder Ausleitung des Abgases in den oder aus dem Ringspalt vorgesehen. Um ein Ein- oder Ausleiten des Abgases zu verhindern oder einzuschränken, wird mittels der dann verschwenkten Klappe diese Durchtrittsöffnung versperrt.

[0008] Der Vorteil der Erfindung ist, dass durch die Klappe als aktives Stellmittel genau einstellbar ist, ob und in welcher Menge das Abgas durch das Innenrohr oder den Ringspalt strömt. Folglich kann die optimale Arbeitstemperatur des NO_x-Adsorbers eingestellt werden. Aufgrund der Zwischenstellungen ist eine exakte Temperaturregelung des gesamten austretenden Abgases in allen Betriebszuständen möglich. Mit dem vorgeschlagenen Mehrkanalsystem, das sehr kompakt und effektiv ist, kann das gewünschte Abgastemperaturfenster optimal eingeregt werden. Die Ansteuerung der Klappe ist individuellen Anforderungen gemäß wählbar.

[0009] Um eine vollständige Versperrwirkung der Durchtrittsöffnung zu erreichen, muss die Klappe mindestens die Größe der Durchtrittsöffnung aufweisen. Sofern die Klappenfläche größer als die Durchlassfläche ist, kommt die Klappe auf der Innenrohrwandung zur Anlage. Schon in diesem Zustand weist

die Klappe nur einen geringen Abgasgegendruck gegenüber vorbeistreichendem Gas auf.

[0010] Der Abgasgegendruck kann zusätzlich minimiert werden, indem die Verschwenkachse der Klappe in die Innenrohrwandung integriert wird und die Klappenfläche der Durchlassfläche entspricht. Dann schließt die Klappe im Versperrzustand bündig mit der Innenrohrwand ab. Aufgrund des bündigen Abschlusses kann das Abgas bei verschlossener Öffnung ohne Hindernis durch das Innenrohr strömen.

[0011] Um eine vollständige Versperrwirkung des Innenrohres zu erreichen, weist die Klappe die Querschnittsform des Innenrohres auf. Da die Verschwenkachse gerade ausgebildet ist, ist das Innenrohr im Verschwenkbereich durch eine entsprechende ebene Wandung angepasst ausgeformt. Aus Vereinfachungsgründen bei der Herstellung kann das Innenrohr auch über seine gesamte Länge mit einer ebenen Wandung geformt werden.

[0012] Die Klappe mit einer geraden Verschwenkachse ist vorzugsweise zungenförmig oder halbkreisförmig ausgebildet. Sie wird vorzugsweise einlass- oder auslassseitig angeordnet. Es ist auch möglich, die Klappe beispielsweise in der Mitte des Innenrohres im Überlappbereich von dem zweiten zum Innenrohr zu platzieren. Zur Erfüllung ihrer Doppelfunktion bzw. doppelten Versperrfunktion der Klappe muss nur gewährleistet sein, dass die Durchtrittsöffnung im Verschwenkbereich bzw. Wirkbereich der Klappe angeordnet ist. Da das zweite Rohr jeweils eingangs- oder endseitig geschlossen ist, strömt das Abgas an dieser Seite nicht konzentrisch in oder aus dem Rohr, sondern in oder aus der Durchtrittsöffnung.

[0013] Da das Abgas in den Ringspalt durch die Durchtrittsöffnung eintritt bzw. austritt, empfiehlt es sich aus Gründen einer besseren Gasströmung, das zweite Rohr mit einer schrägen Wandung an das Innenrohr anzubinden. Die Durchtrittsöffnung ist innerhalb des durch die Schräge verlängerten Rohrabschnittes angeordnet. Auf diese Weise wird das Abgas am Einlass von einer Seite strömungsgünstig in den Ringspalt geleitet bzw. am Auslass strömungsgünstig auf eine Seite des Innenrohrs in Richtung Durchtrittsöffnung umgelenkt. Ein Anschluss mit einer rechtwinkligen Wandung wäre auch möglich, bedeutete aber einen höheren Druckverlust.

[0014] Das vorgeschlagene Mehrkanalsystem kann aus zwei Rohren bestehen und die Abkühlung des Abgases im Ringspalt aufgrund von Umgebungsluft erfolgen, sofern das zweite Rohr nicht zu dickwandig ausgebildet ist. Um die Kühlwirkung des Abgases, das durch den Ringspalt strömt, zu erhöhen, wird das Abgasrohr vorteilhaft dreiwandig ausgebildet. Das zweite Rohr ist mit einem Mantelrohr umgeben, das zwischen sich und dem zweiten Rohr einen zweiten, äußeren, Ringspalt bildet. Durch diesen Ringspalt strömt ein Kühlmittel, beispielsweise Wasser. Damit wird der oben beschriebene Ringspalt zum inneren Ringspalt.

[0015] Derartige mehrwandige Kanalsysteme las-

sen sich mittels Innenhochdrucktechnik kostengünstig realisieren, wobei auch komplex geformte Querschnitte, beispielsweise am Innenrohr, gut formbar sind. Ein besonders günstiges Herstellverfahren ist in der DE 40 19 899 C1 beschrieben, was sich auch zur Herstellung eines dreiwandigen Rohres eignet. Dann wird in einem ersten Schritt der innere Ringspalt in einem ersten Werkzeug aufgeweitet. Anschließend wird in einem zweiten Schritt der äußere Ringspalt in einem zweiten Werkzeug mit entsprechender Gravur ausgeformt.

[0016] Die Klappe selbst ist leicht zuzuschneiden. Für ihre Anordnung entlang der Innenrohrwandung sind keine zusätzlichen gegossenen und mechanisch bearbeiteten Gehäuse notwendig.

[0017] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert: Hierbei zeigen:

[0018] Fig. 1 einen Längsschnitt eines Abgasrohres mit der Klappe in Isolierstellung;

[0019] Fig. 2 den gleichen Längsschnitt eines Abgasrohres mit der Klappe in der Kühlstellung;

[0020] Fig. 3 die Schnittdarstellung X-X aus Fig. 1;

[0021] Fig. 4 die Schnittdarstellung Y-Y aus Fig. 1;

[0022] Fig. 5 eine schematische Ansicht auf ein Abgasrohr mit einer Klappe, die auslassseitig angeordnet ist.

[0023] Fig. 1 zeigt das Abgasrohr 1, das in eine Abgasanlage (nicht gezeigt) eines Kraftfahrzeugs zwischen einem Abgas erzeugenden Verbrennungsmotor und einem Abgas in die Umgebung überleitenden Auspuffrohr integriert ist. Hierbei gelangt das Abgas zunächst über einen Krümmer in einen Drei-Weg-Katalysator und über ein Abgasrohr in einen vor dem Auspuffrohr angeordneten NO_x-Adsorber. Das Abgasrohr 1 als Mehrkanalsystem umfasst ein Innenrohr 2 als direkte Verbindung zwischen dem Drei-Weg-Katalysator und dem NO_x-Adsorber. Das Innenrohr 2 ist von einem zweiten Rohr 3 umgeben, wodurch zwischen dem Innenrohr 2 und dem zweiten Rohr 3 ein innerer Ringspalt 4 gebildet wird. Zusätzlich ist um das zweite Rohr 3 ein äußeres Mantelrohr 5 mit Abstand angeordnet, wobei der sich ergebende äußere Ringspalt 6 mittels eines Kühlmittels KM durchströmt wird, was durch einen Zuführ- (nicht gezeigt) bzw. Ausführstutzen 7 ein- bzw. austritt. Diese Stutzen 7 sind mit einer Kühleinheit (nicht gezeigt) verbunden.

[0024] Bei der gezeigten Ausführungsform ist das zweite Rohr 3 einlassseitig verschlossen und mit einer schrägen Wandung 8 an die Außenwandung 9 des Innenrohres 2 verbunden. Zudem weist das zweite Rohr 3 einen schrägen Anschnitt 10 auf. Hierdurch wird ein verlängerter Rohrabschnitt 11 auf einer Seite des Innenrohres 2 gebildet. Innerhalb dieses verlängerten Rohrabschnitts 11 und im Überlappungsbereich zwischen dem zweiten Rohr 3 und dem Innenrohr 2 ist eine Durchtrittsöffnung 12, hier eine Eintrittsöffnung, für das Abgas AG in den inneren Ringspalt 4 eingebracht. Diese Durchtrittsöffnung 12 kann auch

als Aussparung oder Fenster bezeichnet werden. Die Form der Durchtrittsöffnung 12 ist aus der **Fig. 4** ersichtlich. Die gerade Verschwenkachse 13 der Stell- oder Schaltklappe 14 verläuft entlang der Innenrohrwandung 15 und ist im gezeigten Beispiel in die Innenrohrwandung 15 integriert. **Fig. 1** zeigt die Klappe 14 in der vollständigen Versperrstellung für die Durchtrittsöffnung 12. Dies entspricht der bevorzugten Stellung in der Startphase des Motors, in der das Abgas luftspaltisoliert auf Temperatur gehalten werden soll. 100% des Abgases AG strömt durch das luftspaltisierte Innenrohr 2. Um ein sehr schnelles Anspringen („light oft“) des NO_x-Adsorbers zu erreichen, ist das Innenrohr 2 dünnwandig ausgebildet. Es nimmt somit wenig Wärme auf und heizt sich schnell auf, was aufgrund der Isolierung durch den inneren Ringspalt 4 unterstützt wird.

[0025] **Fig. 2** stellt die Kühlstellung der Klappe 14 dar. Mit der strich-punktierten Linie ist der Verschwenkbereich der Klappe 14 gezeigt, wobei die Kühlstellung bereits bei einem Schwenkwinkel kleiner als 90° erreicht ist. In dieser Stellung fließt das Abgas AG nur in den inneren Ringspalt 4 und kühl sich an dem im äußeren Ringspalt 6 strömenden Kühlmittel KM ab.

[0026] Den Schnitt X-X der **Fig. 1** zeigt **Fig. 3**, aus der ersichtlich wird, dass die Verschwenkachse 13, die Klappenfläche sowie die Innenrohrwandung 15 in einer Ebene liegen. Das gerade Klappenende 16 ist mit einer Welle 17 verbunden, die endseitig schwenbar in beispielsweise einem Gleitlager 18a,b gelagert ist. An einem Wellenende 19 ist ein – hier stabförmiges – Stellglied 20 angeschweißt, über das der Verschwenkwinkel der Klappe eingestellt werden kann. Die Steuerung des Stellgliedes 20 und damit der Klappe ist variabel und kann rein mechanisch, pneumatisch oder auch durch einen Kraft erzeugenden Temperaturfühler, wie ein Bimetall, verwirklicht werden. Die Klappachse bietet sich außerdem als Ort für eine Temperaturmessung an, da diese ständig von Abgas umströmt wird. Die Lagerungen 18a, b sind mit den Rohrwandungen verschweißt (21).

[0027] Die Klappe 14 selbst ist zungenförmig, wie aus der **Fig. 4** hervorgeht, die den Schnitt Y-Y der **Fig. 1** zeigt. Es ist gut ersichtlich, dass die Klappenfläche der Fläche der Durchtrittsöffnung entspricht. Der Zuschnitt 22 der Klappe 14 ermöglicht gerade ein bündiges Eintauchen der Klappe 14 in die Durchtrittsöffnung 12. Das zweite Rohr 3 ist, etwa beginnend am Ende der Durchtrittsöffnung 12 umlaufend, an die Außenwandung des Innenrohres 2 angegeschweißt (23).

[0028] Mit Hilfe der **Fig. 5** wird eine alternative Anordnung der Durchtrittsöffnung 12' am Ende des Abgasrohres dargestellt. Das zweite Rohr 3 bindet endseitig an das Innenrohr 2 an. Um die Doppelfunktion der Klappe 14 zu ermöglichen, ist die Verschwenkachse 13 in Strömungsrichtung vor der Durchtrittsöffnung 12' angeordnet. Der Zuschnitt 22 der Klappe 14 ist in etwa halbkreisförmig, was dem Querschnitt des

Innenrohres 2 entspricht. Das durch das Innenrohr 2 strömende Abgas AG wird durch stehendes Abgas im inneren Ringspalt 4 wärmeisoliert. An diesem Beispiel wird die Wirkungsweise der schrägen Anbindung des zweiten Rohrs 3 an das Innenrohr 2 deutlich. Das Abgas AG wird strömungsgünstig aus dem kompletten Ringspaltquerschnitt am schrägen Anschnitt 10 entlang der Innenrohraußenseite in den Teil unterhalb der Öffnung 12' geführt und tritt dann radial aus der Durchtrittsöffnung 12' in das Innenrohr 2 aus.

Bezugszeichenliste

1	Abgasrohr
2	Innenrohr
3	zweites Rohr
4	innerer Ringspalt
5	Mantelrohr
6	äußerer Ringspalt
7	Ausführstutzen
8	schräge Wandung
9	Außenwandung des Innenrohrs
10	schräger Anschnitt
11	verlängerter Rohrabschnitt
12	Durchtrittsöffnung (12' auslassseitig)
13	Verschwenkachse
14	Klappe
15	Innenrohrwandung
16	Klappenende
17	Welle
18a,b	Gleitlager
19	Wellenende
20	Stellglied
21	Schweißpunkt
22	Zuschnitt der Klappe
23	Schweißnaht
KM	Kühlmittel
AG	Abgas

Patentansprüche

1. Abgasrohr (1) für die Abgasanlage eines Kraftfahrzeugs, die zwischen einem Abgas erzeugenden Verbrennungsmotor und einem Abgas in die Umgebung überleitenden Auspuffrohr, insbesondere zwischen einem motornahen Drei-Wege-Katalysator und einem vor dem Auspuffrohr angeordneten NO_x-Adsorber, angeordnet ist, mit einem das Abgas (AG) leitenden Innenrohr (2) und einem das Innenrohr (2) mit Abstand umgebenden zweiten Rohr (3), das mit dem Innenrohr (2) einen Abgas (AG) leitenden Ringspalt (4) bildet, der mittels einer Klappe (14) versperrbar ist, **dadurch gekennzeichnet** dass die Verschwenkachse (13) der Klappe (14) entlang der Innenrohrwandung (15) angeordnet ist und dass im Verschwenkbereich der Klappe (14) eine Durchtrittsöffnung (12) in der Innenrohrwandung (15) zum Ein- oder Ausleiten von Abgas in den oder aus

dem Ringspalt (4) vorgesehen ist, wobei die Klappe (14) zwischen einer Versperrstellung der Durchtrittsöffnung (12) und einer Versperrstellung des Innenrohrs (2) einschließlich Zwischenstellungen verschwenkbar ist.

2. Abgasrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verschwenkachse (13) der Klappe (14) in die Innenrohrwandung (15) integriert ist und die Klappe (14) im Versperrstellung der Durchtrittsöffnung (12) bündig mit der Innenrohrwand abschließt.

3. Abgasrohr nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Innenrohr (2) wenigstens im Verschwenkbereich der Klappe (14) eine dem Verlauf einer geraden Verschwenkachse (13) entsprechende ebene Wandung (15) aufweist.

4. Abgasrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Klappe (14) zungenförmig ausgebildet ist.

5. Abgasrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Rohr (3) einlassseitig geschlossen ist, dass die Durchtrittsöffnung (12) im Überlappbereich des Innenrohres (2) und des zweiten Rohres (3) einlassseitig in die Innenrohrwandung (15) eingebracht ist und dass die Verschwenkachse (13) der Klappe (14) in Strömungsrichtung hinter der Durchtrittsöffnung (12) angeordnet ist.

6. Abgasrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Rohr (3) auslassseitig geschlossen ist, dass die Durchtrittsöffnung (12') im Überlappbereich des Innenrohres (2) und des zweiten Rohres (3) auslassseitig in die Innenrohrwandung (15) eingebracht ist und dass die Verschwenkachse (13) der Klappe (14) in Strömungsrichtung vor der Durchtrittsöffnung (12') angeordnet ist.

7. Abgasrohr nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Rohr (3) mit einer schrägen Wandung (8) an das Innenrohr (2) anbindet, wobei sich die Durchtrittsöffnung (12, 12') innerhalb des durch die Schräge verlängerten Rohrab schnittes (11) befindet.

8. Abgasrohr nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Rohr (3) von einem Mantelrohr (5) umgeben ist und mit dem Mantelrohr (5) einen ein Kühlmittel (KM) führenden äußeren Ringspalt (6) bildet.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

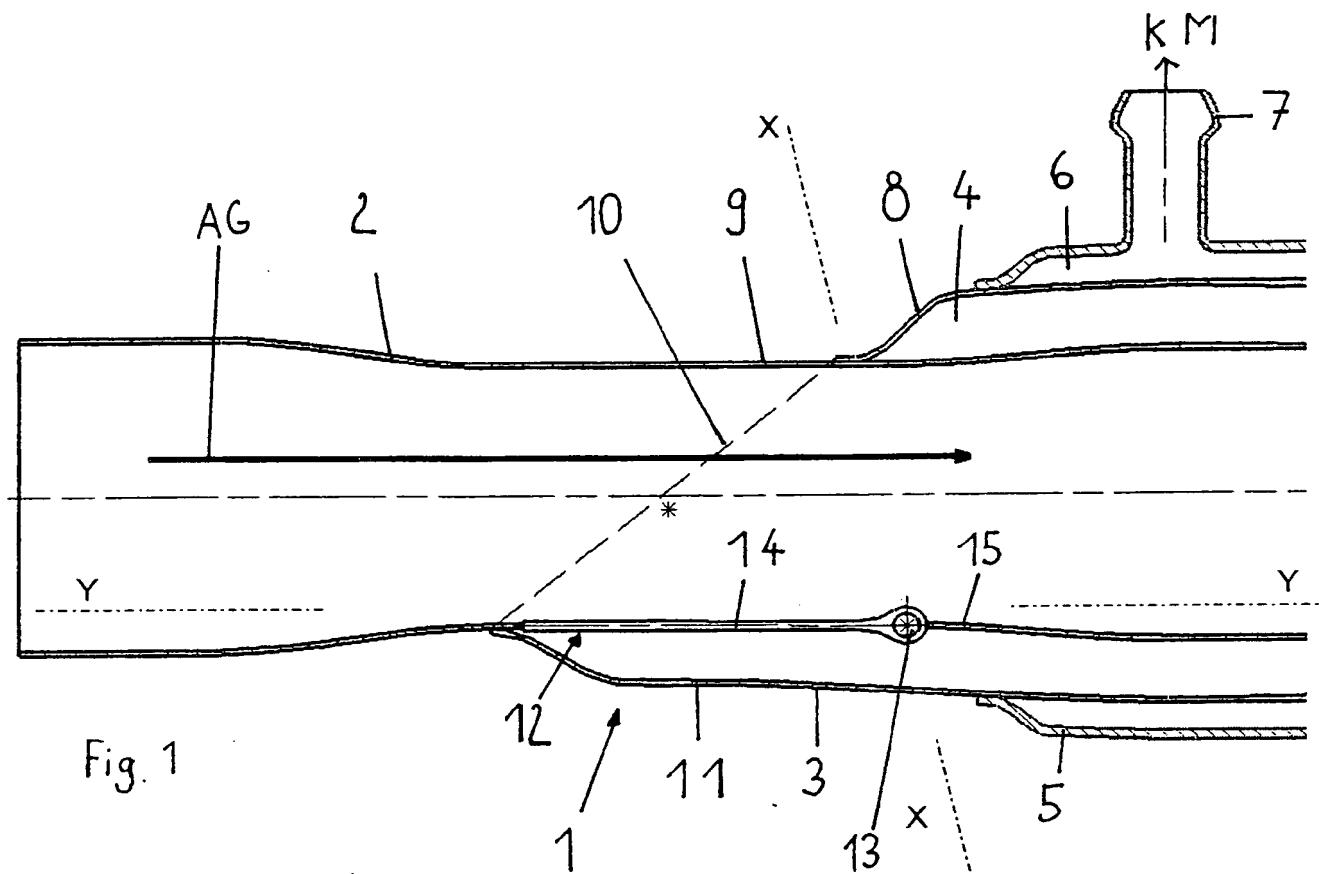


Fig. 1

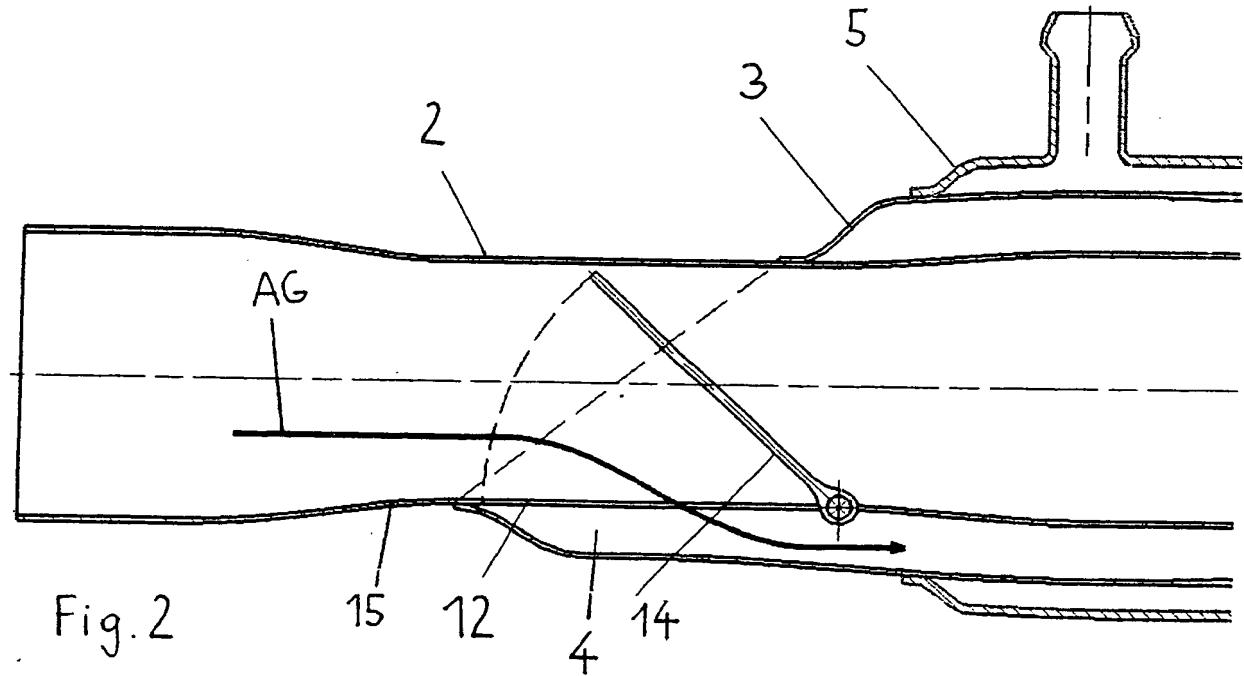


Fig. 2

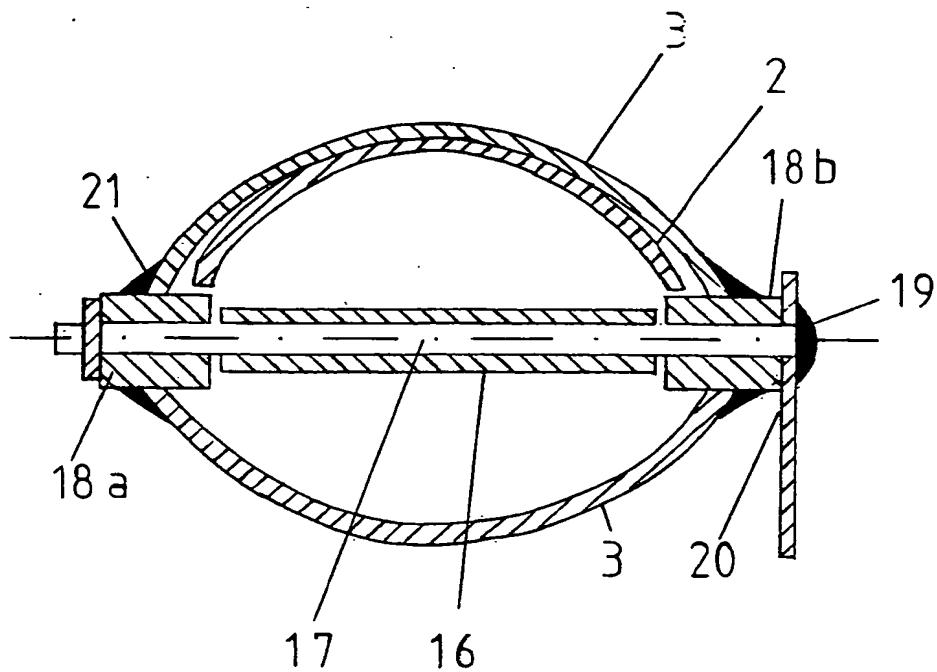


Fig. 3

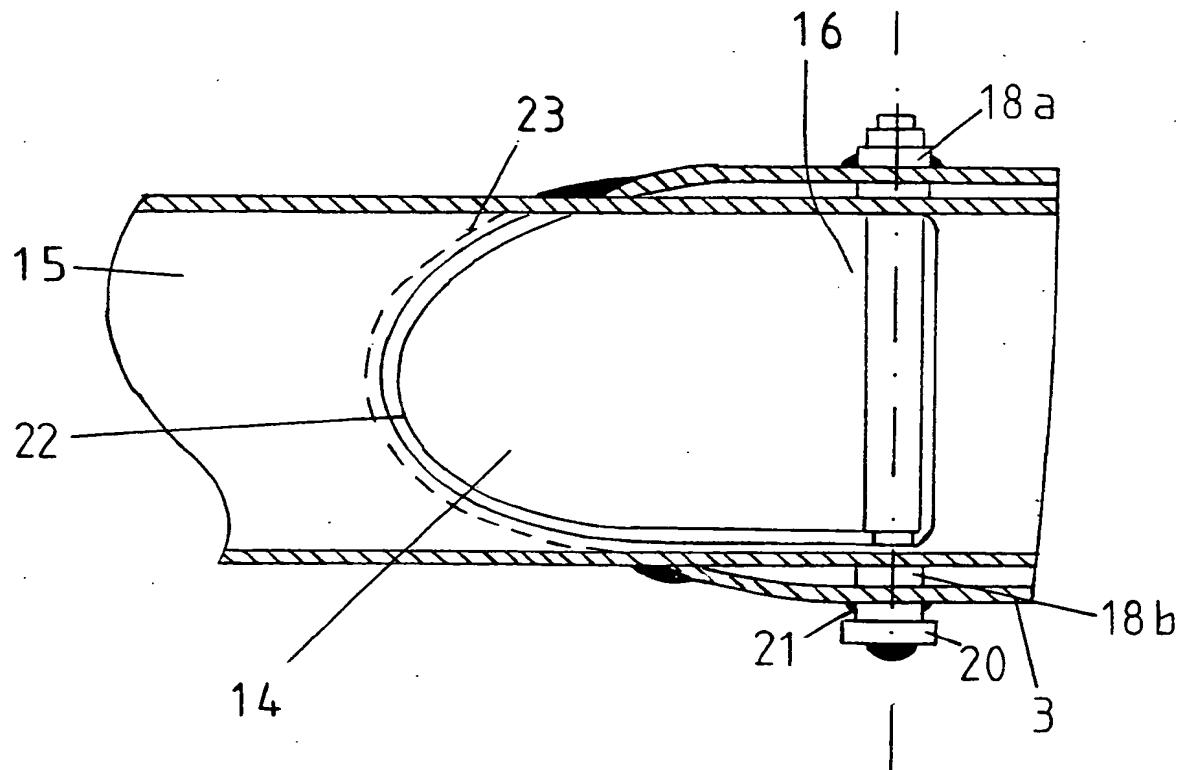


Fig. 4

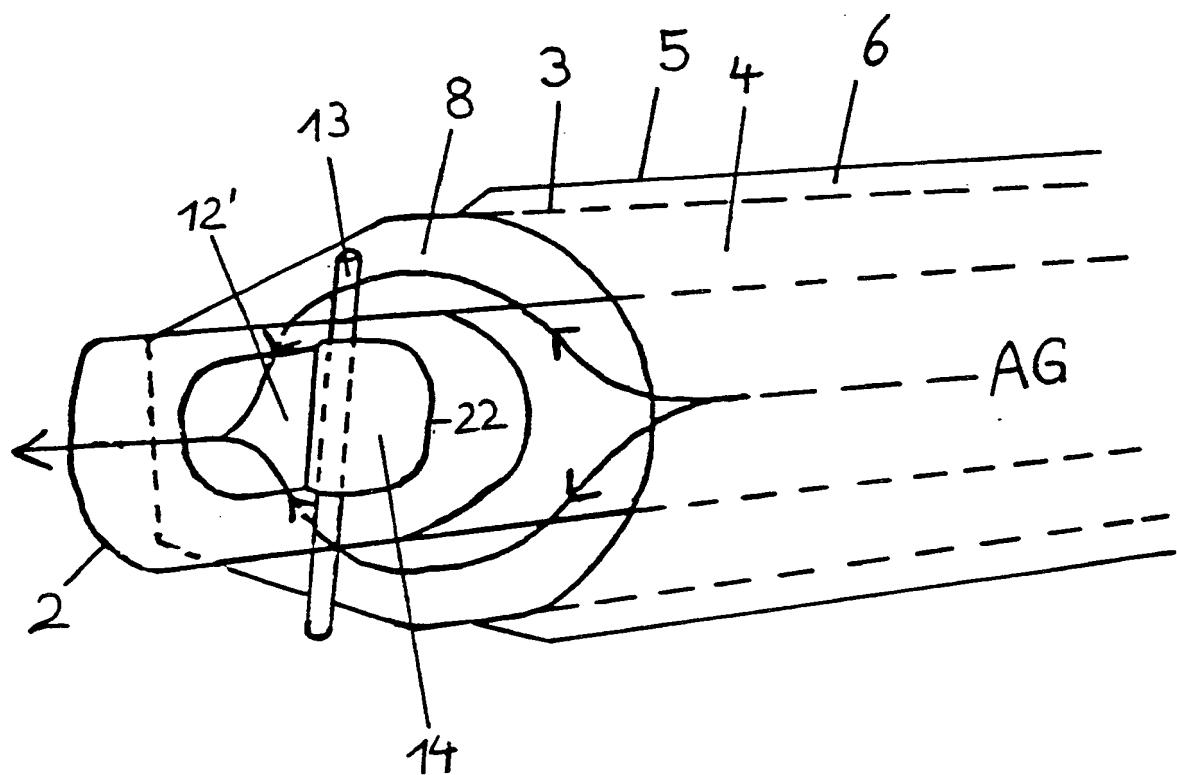


Fig. 5